

RISTEYSALUEIDEN LISÄLOUHINTOJEN TILAVUUKSIEN MÄÄRITTÄMINEN KEMIN KAIVOKSELLA

Teemu Kaakkurivaara

Opinnäytetyö
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2015

Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikan koulutusohjelma

Tekijä	Teemu Kaakkurivaara	Vuosi	2015
Ohjaaja	Timo Karppinen		
Toimeksiantaja	Outokumpu Chrome Oy		
Työn nimi	Risteysalueiden lisälouhintojen tilavuuksien määrittäminen Kemin kaivoksella		
Sivu- ja liitemäärä	44 + 2		

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin Outokumpu Chrome Oy:n Kemin kaivoksessa louhittavien risteysalueiden lastauskorotusten tilavuuksia. Tilavuuksien arviointiin käytetään urakoitsijan tekemiä teoreettisia laskelmia, joten tämän opinnäytetyön tavoitteena oli saada tarkkoja toteutuneen louhinnan kuutiomääriä.

Risteysalueiden lastauskorotusten tilavuuksien mittaamiseen käytettiin laserkeilausmenetelmää. Laserkeilain asetettiin risteysalueen keskelle ja alue skannattiin. Skannatuista risteyksistä tuotettiin 3D-mallit, joista saatiin ohjelmallisesti laskemalla selville pelkkien lastauskorotusten tilavuudet.

Kun tarkat louhintamäärät olivat tiedossa, voitiin tehdä kustannusvertailua teoreettisten laskelmien ja toteutuneen louhinnan välillä. Urakoitsija laskuttaa Kemin kaivosta lisälouhinnoista ja kuutiomäärälle on tietty yksikköhinta. Toteutuneissa louhintamäärissä oli eroa teoreettisiin laskelmiin, joten tämän työn tuloksena saatujen tarkkojen louhintamäärien perusteella voidaan laskutuksen perusteita mahdollisesti tarkastaa ja useampia risteysalueita skannata, josta seuraa Kemin kaivokselle suoraa taloudellista hyötyä laskeneiden kustannusten kautta.

Avainsanat maanalainen louhinta, mallinnus, laserkeilaus, kaivos, Surpac

Technology, Communication and
Transport
Degree Programme of Land Surveying

Author	Teemu Kaakkurivaara	Year	2015
Supervisor(s)	Timo Karppinen		
Commissioned by	Outokumpu Chrome Oyj		
Subject of thesis	Defining the Volumes of the Underground Intersection Loading Rise Stopings in the Kemi Mine		
Number of pages	44 + 2		

The purpose of this thesis was to define the volumes of the underground intersection loading rise stopings in the Kemi mine. At the moment the volumes of the underground intersection loading rise stopings are estimated by the contractor. The estimated quantities are based on theoretical calculations and are most likely inaccurate.

The laser scanning was used as the measuring method to gather the data. Laser scanner was positioned at the centre of the intersection and the area was scanned. The scanned data was converted into the 3D models which had been used as a source for the real volumes. The real volumes had been calculated with the Surpac software. In addition, the literature on the field of mining as well as the guides, websites and documents related to mining work were utilized for the theoretical section of this thesis.

After the real volumes of the intersections had been calculated and ready, the cost comparison between theoretical and the real volumes could be done. The contractor charges Kemi mine for extra stopings which are loading rise stopings for example.

There were differences between the real volumes and the theoretical volumes so the bases of the charging can be inspected which leads to profit for the Kemi mine. As a conclusion there could be some long term savings in the extra stoping costs, if more intersections with different drift profiles were scanned and processed like the intersections which were used in this thesis.

Key words underground stoping, modelling, laser scanning, mine, Surpac

SISÄLLYSLUETTELO

KAIVOSSANASTO	5
ALKUSANAT	7
1 JOHDANTO	9
2 OUTOKUMPU OYJ	10
2.1 Perustietoa yrityksestä.....	10
2.2 Outokumpu Chrome Oy ja Kemin kaivos	10
3 KEMIN MAANALAINEN KAIVOS	12
3.1 Maanalainen kaivos	12
3.2 Kemin kaivoksen toiminta	12
4 KAIVOSMITTAUKSEN PERUSTEET JA LAITTEISTO	15
4.1 Kaivosmittauksen perusteet.....	15
4.2 Laserkeilaus	17
4.3 Takymetri.....	20
4.4 Gemcom Surpac.....	21
5 RISTEYSALUEIDEN KEILAUS	23
5.1 Kemin kaivoksen mittaukset	23
5.2 Mittauslaitteisto.....	23
5.3 Orientointi ja tähtysten mittaus.....	25
5.4 Laserkeilaus	25
5.5 Tiedostojen käsittely	26
6 3D-MALLIN LUOMINEN.....	27
6.1 Leica Cyclone	27
6.2 TMS Office ja 3D-Win	29
6.2.1 TMS Office	29
6.2.2 3D-Win	30
6.3 Surpac-mallit	31
7 TULOSTEN KÄSITTELY	34
7.1 Ohjelmallinen tilavuuksien laskenta	34
7.2 Kustannusvertailu	34
8 TYÖN TULOKSET JA POHDINTA	39
8.1 Tulokset.....	39
8.2 Työn tarkkuus ja laatuvaatimukset	41
8.3 Keilausten tarpeellisuus jatkossa	42
LÄHTEET	43
LIITE.....	45

KAIVOSSANASTO

Kemin kaivoksella käytettäviä termejä

Ampu, ampuminen

Porareikään sijoitetun räjähdyspanoksen sytyttämisestä aiheutuva räjähdys, jolla porareian ympärillä oleva kivi (malmi) rikotaan sopivan kokoisiksi kappaleiksi lastausta varten

Avolouhos

Kaivos, jonka louhinta tapahtuu maan pinnalla

Katko

Katko on tunnelin pituussuunnassa yhdellä kertaa räjäytettävä osa

Lastauskorotus

Kahden peräprofiilin risteyksen kattoon louhittu korotus, joka helpottaa lastauskoneen työskentelyä risteyksessä

Louhinta

Käsittää kaikki malmin irrottamiseen tarvittavat toiminnot

Louhos

Malmin (tai kiven) irrottamisesta johtuen muodostunut joko maanalainen tai maanpäällinen avoin tila, joka laajenee sitä mukaa kuin malmia (tai kiveä) louhitaan

Perä, peränajo

Maanalaisessa kaivoksessa louhimalla avattu vaakasuora tai miltei vaakasuora kulkuväylä, tällaisen kulkuväylän avausta kutsutaan peränajoksi

Sivukivi, raakku

Arvoaineita sisältämätön kivi, jota joudutaan kaivoksessa käsittelemään valmistavien töiden tai louhinnan yhteydessä

Vinotunneli, vinoperä

Vino ajotie, maanpinnasta käsin kaivoksen louhinta-alueelle ajettua kalteva perä eli kulkutie, jonka kaltevuus vielä sallii maansiirtoautojen käytön kiven tai malmin kuljettamiseen louhinta-alueelta maanpinnalle

ALKUSANAT

Tämän opinnäytetyön aikana sain erinomaisesti kiteytettyä opittuja asioita kesän 2014 työharjoittelujaksolta Kemin kaivoksella.

Suuri kiitos koko Outokumpu Chrome Oy:n Kemin kaivoksen kaivososastolle. Kiitokset Toni Ankkurille tehokkaasta työn valvonnasta Outokummun puolelta. Marika Näätsaarea haluaisin kiittää kaivosmittauksen pariin perehdyttämisestä ja arvokkaista tiedoista ja taidoista koskien tätä opinnäytetyötä. Lisäksi kiitokset Jaakko Ihanukselle ja Risto-Matti Toivaselle opinnäytetyön tekemisen mahdollisuudesta. Koulun puolelta haluaisin kiittää Timo Karppista opinnäytetyön ohjauksesta.

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

- Kuvio 1. Kemin kaivos (Outokumpu Tornio Works 2003).
- Kuvio 2. Kemin kaivoksen pituusleikkaus (Outokumpu Chrome Oy 2014).
- Kuvio 3. Kemin kaivoksen erilliskoordinaatistot (Outokumpu Chrome Oy 2013).
- Kuvio 4. Laserkeilaimen ja digitaalikameran yhdistetty näkymä.
- Kuvio 5. Pulssilaserin toimintaperiaate (Kukko 2005, 7).
- Kuvio 6. Vaihe-erolaserin toimintaperiaate (Kukko 2005, 7).
- Kuvio 7. Takymetrin rakennekuva (Laurila 2010, 225).
- Kuvio 8. Surpac-ohjelmiston käyttöliittymä.
- Kuvio 9. Leica TCRP 1202+ R1000 (Leica Geosystems 2009).
- Kuvio 10. Z+F Imager 5006 (Zoller+Fröhlich 2014).
- Kuvio 11. Laserkeilaimen tuottama käsittelemätön pistepilvi.
- Kuvio 12. Kuvassa näkyy tähysten 11, 12 ja 13 sijainti risteykseen nähden.
- Kuvio 13. Käsitelty pistepilvi.
- Kuvio 14. Keskilinjojen koordinaattien syöttäminen TMS Officeen.
- Kuvio 15. Näkymä risteysalueesta 3D-Win –ohjelmistossa.
- Kuvio 16. Osittain käsiteltyt poikkileikkaukset kaivostietokannan tasotiedon yhteydessä.
- Kuvio 17. Molemmat kappalemallit samassa kuvassa.
- Kuvio 18. Esimerkki teoreettisista tilavuuslaskelmista.
- Kuvio 19. Esimerkki yhden risteysalueen korotetun ja referenssin mallikappaleista muodostetuista raporteista ja niiden tilavuuseroista.
- Taulukko 1. Molempien risteysalueiden laskennat ja tulokset.

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Outokumpu Chrome Oy:n Kemin kaivoksen toimeksiannosta. Opinnäytetyöni taustalla olivat puuttuvat tarkat tilavuudet risteysalueiden lastauskorotuksista maanalaisessa kaivoksessa, joiden perusteella louhintaurakoitsija laskuttaa Kemin kaivosta toteutuneesta lisälouhinnasta. Alkuperäiset teoreettiset laskelmat eivät perustu mihinkään tarkkoihin mittaustuloksiin, vaan ovat arvioituja ja oletettavasti epätarkkoja.

Työn pääasiallisena tavoitteena oli saada risteysalueiden korotuksista tarkat kartoitetut (ts. toteutuneet) tilavuudet ja mitat. Näistä tuloksista koostettaisiin 3D-mallit, joiden tilavuuksia verrattaisiin teoreettisiin tilavuuksiin. Työn tavoitteena oli myös tutustua kaivosmittauksen teoriaan maanalaisessa kaivoksessa ja kaivosmittauksessa käytettäviin laitteisiin ja niiden toimintaan.

Teoriaosuus toteutettiin tutustumalla kaivannaisalan kirjallisuuteen ja Kemin kaivokselta saatuihin digitaalisiin lähteisiin. Käytännön osuus toteutettiin laserkeilaamalla maanalaisen kaivoksen vinotunnelin varrella sijaitsevat kaksi risteysaluetta. Näiden keilausten tuottamista pistepilvistä luotiin Surpac-ohjelmistolla 3D-mallit, joista ohjelmallisesti laskettiin tilavuudet. Näitä toteutuneita tilavuuslukemia verrattiin käytössä oleviin teoreettisiin tilavuuslukemiin.

Työssäni pohjustetaan toimeksiantajayritys Outokumpu Chrome Oy:tä josta edetään Kemin kaivoksen toimintaan. Kemin kaivoksen toiminnasta siirrytään maanalaisen kaivoksen toimintaan, josta vähitellen tarkennetaan käsittelyä kaivosmittauksen teoriaan, käytössä oleviin laitteisiin ja niiden toimintaan. Kun perusteet ja työn taustalla oleva teoria on käsitelty, siirrytään työn toteutukseen, jonka tulokset tiivistetään viimeisessä luvussa.

2 OUTOKUMPU OYJ

2.1 Perustietoa yrityksestä

Outokumpu Oyj on maailmanlaajuinen metalliteollisuusyritys, joka toimii yli 30 maassa ja sen historia ulottuu vuoteen 1910 asti. Vuonna 2013 Outokummun liikevaihto oli 6745 miljoonaa euroa. Outokummun pääliiketoiminta-alue on ruostumaton teräs ja erikoismetalliseostuotteet. Sen Tornion tehtaat käsittävät merkittävimmät tuotantolaitokset, ferrokromisulaton ja terästehtaan. Tornion tehtaat muodostavat maailman suurimman, yhtenäisen ruostumattoman teräksen tuotantoketjun. (Outokumpu Chrome Oy 2014.)

2.2 Outokumpu Chrome Oy ja Kemin kaivos

Kemin kaivos (Kuvio 1) on Outokumpu Oyj:n tytäryhtiön Outokumpu Chrome Oy:n omistama kaivos, jonka tuotanto käynnistettiin vuonna 1966 avolouhoksesta.



Kuvio 1. Kemin kaivos (Outokumpu Tornio Works 2003).

Kaivos tuottaa pala- ja hienorikastetta Outokummun oman ferrokromitehtaan raaka-aineeksi. Ferrokromitehdas sijaitsee Torniossa, kaivos sijaitsee Elijärvellä Keminmaan kunnassa. Elijärven alueelle on louhittu kolme peräkkäistä avolouhosta (Surmaoja, Elijärvi ja Viianmaa), joiden toiminta loppui joulukuussa 2005. Maanalainen louhinta aloitettiin vuonna 2003. Kemin kaivos on EU:n ainoa kromikaivos. Nykyisin malmia louhitaan 2,3–2,4 miljoonaa tonnia vuodessa. Outokumpu Chrome Oy:öön kuuluvaa kaivoksen henkilökuntaa on noin 193 henkilöä ja tämän lisäksi kaivoksella työskentelee noin 200 henkilöä eri urakoitsijoiden palveluksessa. (Ankkuri 2013, 40; Outokumpu Chrome Oy 2014.)

Eri urakoitsijat työskentelevät mm. louhintatöissä, malmin lastauksessa, räjäytystöissä ja muissa kaivoksen toimintaan liittyvissä työtehtävissä. Rikasteita on kuljetettu kaivokselle johtavan rautatien kautta aina vuoden 2005 loppuun asti, kunnes paikallinen kuorma-autoyrittäjä teki paremman tarjouksen ja nykyisin malmi kuljetetaan kuorma-autoilla kaivoksen ja Tornion tehtaiden välillä. (Outokumpu Chrome Oy 2014.)

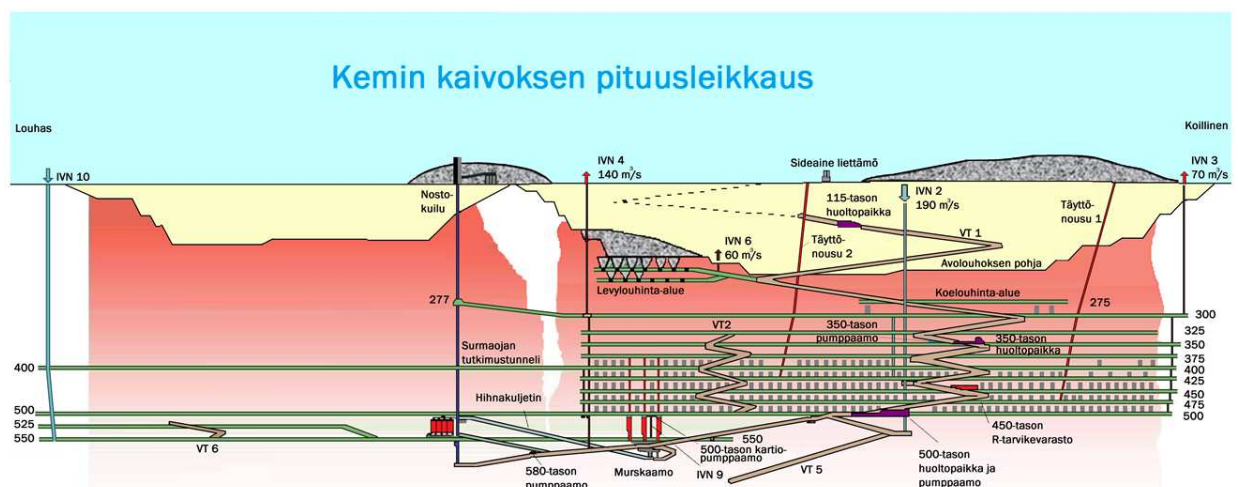
3 KEMIN MAANALAINEN KAIVOS

3.1 Maanalainen kaivos

Maanalaisessa kaivoksessa malmia louhitaan tunneleista käsin. Maanalaisen kaivoksen toiminta ei ole pelkkää malmin ja sivukiven, eli raakun, irrotusta ja poistoa. Maan alle joudutaan rakentamaan runsaasti tunneleita, sähköverkostoa, tuuletuskanavia, vesijohtoja, huoltotasoja, malminkäsittelylaitteistoa, nousuja ja tiedonsiirtokaapeleita. Tunnelit joudutaan kalliolujuudesta riippuen tukemaan joko pultein, verkotuksin tai betonoimalla. (Lappalainen 2009, 215, 216; Salonen 1956, 122.)

3.2 Kemin kaivoksen toiminta

Kemin maanalaiseen kaivokseen kuljetaan pääasiallisesti vinotunnelin kautta. Myös kuilut toimivat kulkuväylinä. Vinotunneli etenee pääsääntöisesti noin neljän metrin katkoina. Vinotunnelin ja muiden tunneleiden etenemistä kutsutaan peränajoksi. Malmin louhinta on aloitettu 500 metrin syvyydestä. Tästä 500-tasoksi kutsutusta syvyydestä edetään ylöspäin kohti avolouhoksen pohjaa, kuviossa kaksi näkyy Kemin kaivoksen pituusprojektiio. (Outokumpu Chrome Oy 2014; Vuorimiesyhdistys r.y. 1964.)



Kuvio 2. Kemin kaivoksen pituusleikkaus (Outokumpu Chrome Oy 2014).

Kemin kaivoksen pääasiallisena louhintamenetelmänä käytetään poikittaista pengperlouhintaa jälkitäytöllä. Tässä louhintatavassa yksittäiset louhokset täytetään systemaattisesti tyhjiinlastauksen jälkeen. Louhosalueet on jaettu kahteen osaan, ensimmäisen vaiheen primäärilouhoksiin ja toisen vaiheen sekundäärilouhoksiin. Ensimmäisen vaiheen louhokset täytetään kovetetulla täytteellä, jotta louhosten väliset pilarit (toisen vaiheen louhokset) ovat louhittavissa. (Lappalainen 2009, 108, 111.)

Louhosporaus tehdään systemaattisesti alaspäin, eli alakätisesti, jolloin louhinnan laatu turvallisuuden ohella voidaan varmistaa. Tavoitteena olisi ampua kerrallaan neljä leikkausta. Louhosten läpimenoajat eli louhinta- ja täyttöaika pidetään mahdollisimman lyhyenä. Avointa louhostilaa pyritään välttämään ja tyhjiinlastaus tapahtuu vasta viimeisen ammun jälkeen. Tällä toimintatavalla vähennetään louhosten seinä- ja kattosortumien riskiä. (Outokumpu Chrome Oy 2013; Lappalainen 2009, 108, 111.)

Louhosten lastaus tapahtuu alaperää pitkin pääosin etäohjattuna. Malmiperät ja lastausaukot lujitetaan paikallisesta kalliolujuudesta riippuen kattopulttituksella, vaijeripultittamalla, ruiskubetonoimalla ja verkottamalla. Malmin seuraava määränpää on kaatonousukuilu, josta se johdetaan maanalaiselle murskaamolle. Tämän jälkeen murskattu malmi siirretään hihnakuuljetinjärjestelmillä kuilun läheisyydessä sijaitseviin esimurskesiiloihin. Esimurskesiiloista malmi ohjataan mittataskun kautta nostokappaan, jonka avulla malmi nostetaan kuilun kautta 70 metriä korkean nostotornin purkusiiloon, josta se syötetään rikastusprosessiin. (Outokumpu Chrome Oy 2014; Lappalainen 2009, 111.)

Kemin kaivoksen rikastamo tuottaa pala- ja hienorikastetta nostetusta kromimalmista. Rikastamon murskaamalla malmi murskataan ja seulotaan jatkokprosessesj varten kappalekokoon 12–100 millimetriä. Ensimmäisessä vaiheessa tuotetaan pararikastetta. Pararikaste tuotetaan raskasväliaine-erotuksella. Tämä tarkoittaa ominaispainoltaan suurimpien eli eniten kromiittia sisältävien malminpalojen erotusta muusta malmista pararikasteeksi. (Outokumpu Chrome Oy 2014.)

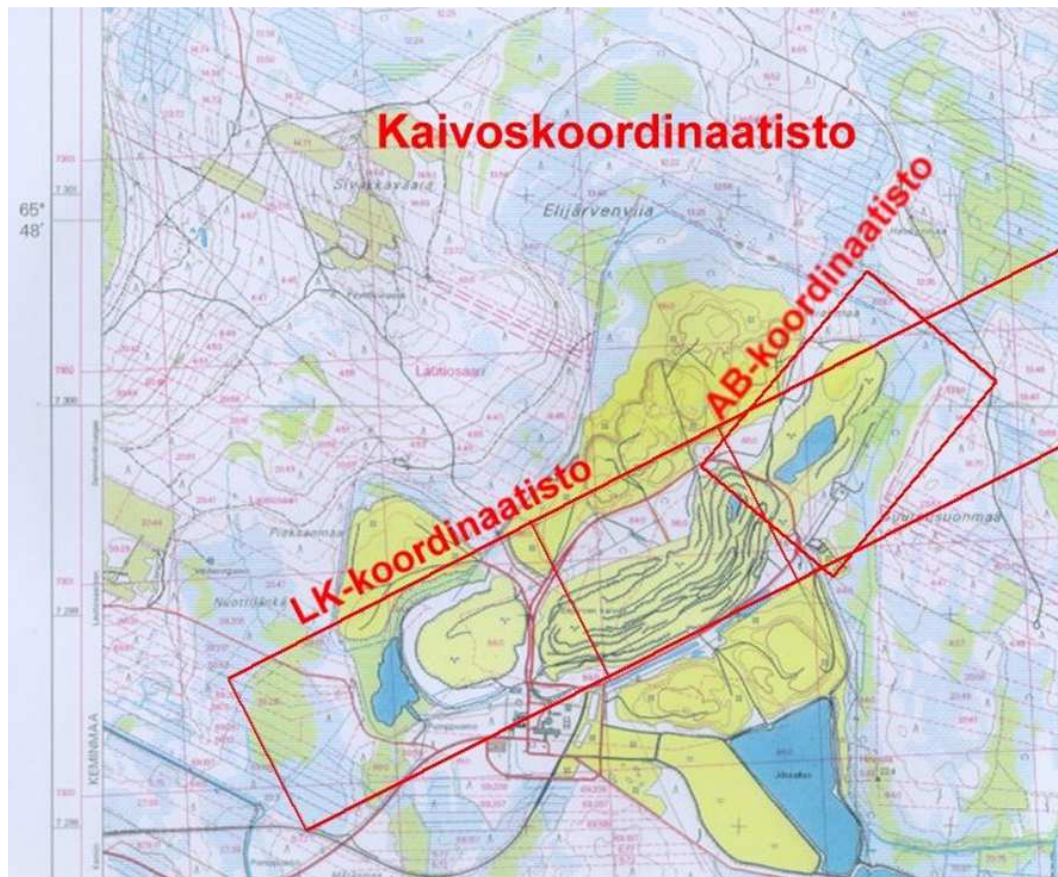
Toisessa vaiheessa hienorikastamolla murskattu malmi sekä palarikastuksen välituote käsitellään tankomyllyssä. Tankomyllyssä malmi jauhetaan hienoksi veden kanssa. Lopuksi kromiitti erotetaan lietteestä spiraalierottimilla painovoiman avulla ja malmi siirtyy jatkokäsittelyyn ferrokromitehtaalle pala- ja hienorikastemuodossa. (Outokumpu Chrome Oy 2014.)

4 KAIVOSMITTAUKSEN PERUSTEET JA LAITTEISTO

4.1 Kaivosmittauksen perusteet

Kaivosmittaus on kaivoksessa ja kaivosalueella tapahtuvaa maanmittausta, itse kaivos voi olla joko maanalainen kaivos tai avolouhos. Kaivosmittauksen tarkoitus on tuottaa paikkatietoa kaivostoiminnan eri suunnittelutarkoituksiin ja siirtää suunnitelmat maastoon tai käyttöön. Myös lakisääteisten kaivoskarttojen ajantasaisuudesta huolehtiminen kuuluu kaivosmittauksen piiriin. (Härmälä & Wikman 2009, 347.)

Yleisesti kaivoksilla on käytössä erilliskoordinaatisto, Kemin kaivoksen tapauksessa kaksi erilliskoordinaatistoa (Kuvio 3). Erilliskoordinaatisto on koordinaattijärjestelmä, joka on vain paikallisesti käytössä tietyllä alueella (kyseisen kaivoksen alueella). Erilliskoordinaatiston Y-suunnan määrittää yleensä malmion kattokontaktin pituussuunta. X-suunta määrittyy taas kohtisuorasti Y:n mukaan. Koordinaattien lukuarvot ovat valittu siten, ettei toiminta-alueella mentäisi negatiivisiin lukemiin. (Härmälä & Wikman 2009, 348; Outokumpu Chrome Oy 2013.)



Kuvio 3. Kemin kaivoksen erilliskoordinaatistot (Outokumpu Chrome Oy 2013).

Kaivoksilla suoritettiin vielä kaksikymmentä vuotta sitten pääasiassa kartoitusta eli mittaustoimintaa karttojen tuottamiseksi. Tämän päivän kaivosmittaus tuottaa kartoitusmittausdataa huomattavasti enemmän kuin ennen. Tämän lisäksi kaivosmittauksen tuottamaa muuta mittausdataa (paikkatietoa) käytetään kartoitusmittausten lisäksi erilaisissa 3D-mallinnuksissa ja esimerkiksi tilavuuslaskennoissa. (Härmälä & Wikman 2009, 348, 349.)

Aikaisemmin kaivossuunnittelijoiden työ pohjautui lähinnä fyysisiin karttoihin, 3D-efektiä saatiin aikaiseksi asettamalla karttoja päällekkäin valopöydälle. Nykyisin tekniikan ja kaivosmittauksen kehittyessä suunnittelu tapahtuu käytännössä kaivosmittauksen tuottaman datan pohjalta tehtyjen 3D-mallien parissa työskentelemällä tietokoneella kaivostietokannassa. (Härmälä & Wikman 2009, 349.)

4.2 Laserkeilaus

Laserkeilaus on mittaustapa, jolla kohteesta saadaan lasersäteiden avulla mittatarkkaa kolmiulotteista tietoa (niin kutsuttu pistepilvi) kohteeseen koskematta. Laserkeilausta käytetään erityisesti vaarallisten kohteiden etäkartoitukseen tai kun täytyy saada paljon pisteaineistoa laajoista alueista. Mittausmenetelmä muistuttaa mittausta takymetrin pintamittaustoiminnoilla, mutta muodostettuja pisteitä on valtavasti ja ne muodostavat pistepilven. Tässä pistepilvessä on mitausresoluutiosta riippuen tuhansia tai jopa miljoonia pisteitä, joilla jokaisella on x-, y- ja z-koordinaatit. (Cronvall, Kråknäs & Turkka 2012, 10.)

Mittaustarkkuuteen vaikuttavat näkyvyyttä huonontavat tekijät, kuten lumi- tai vesisade, näköesteet/katvealueet ja pöly. Erityisesti pöly saattaa huonontaa tarkkuutta kaivosolosuhteissa, jos lasersäteet heijastuvat ennen aikaisesti pois, poikkeutuvat tai absorboituvat. (Cronvall ym. 2012, 11.)

Laserkeilaimet tallentavat jokaisen pisteen intensiteetin, jonka perusteella ne saavat oman sävyarvon, mikä helpottaa aineiston tulkintaa. Intensiteettiin vaikuttavia asioita ovat mm. kohteen väri, materiaali, pinnan tasaisuus ja säteen osumiskulma. Jos mitattava kohde on tasapintainen, niin intensiteettitiedon avulla siitä saadaan erottumaan mahdolliset kuviot. (Cronvall ym. 2012, 11.)

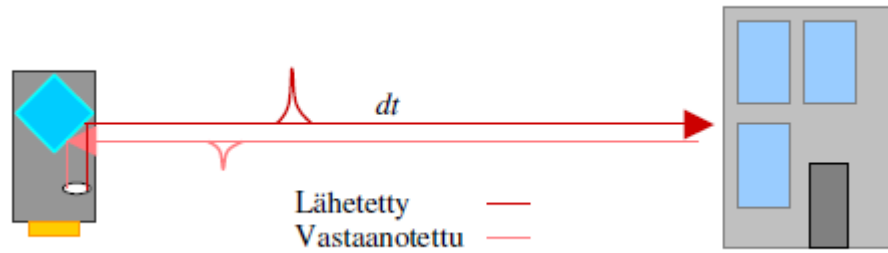
Nykyaikaisiin laserkeilaimiin voidaan liittää myös digitaalikamera, jolla otetaan keilauksen yhteydessä kuvamateriaalia, jotka voidaan liittää pistepilviaineistoon, jolloin pinnoista saadaan teksturoitua luonnollisemman näköisiä ja helppotajuisempia maallikoille. Kuviossa neljä on esimerkki laserkeilaimen ja digitaalikameran yhdistetystä näkymästä. (Cronvall ym. 2012, 11.)



Kuvio 4. Laserkeilaimen ja digitaalikameran yhdistetty näkymä.

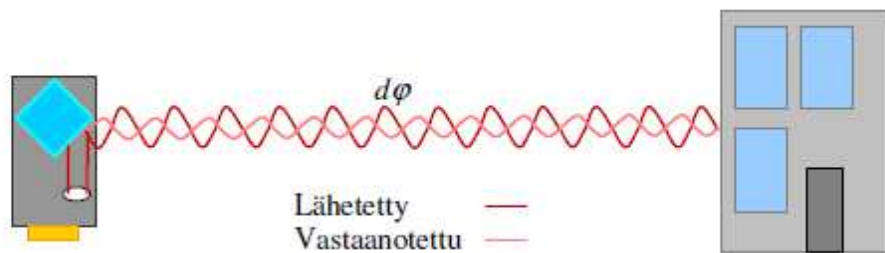
Laserkeilaimen komponentteja ovat lasertykki, keilanos ja ilmaisinos. Lasertykki tuottaa varsinaisen lasersäteen. Keilainosan tehtävä on poikkeuttaa sädetä ja ilmaisinos tulkitsee vastaanotetun signaalin ja määrittää sen perusteella etäisyyden kohteeseen. Etäisyyden määrittämisessä hyödynnetään valon kuluaikaa, vaihe-eroa, näiden yhdistelmää tai kolmiomittausta. Määrittämistapa on laitetyypistä riippuvainen. Mittaustiedon tallennukseen käytetään keilaimen sisäistä muistia tai joissain tapauksissa suoraan tietokonetta. (Cronvall ym. 2012, 10.)

Pulssilaser lähettää katkonaista lasersädettä. Tämän säteen edestakainen kuluaika mitataan laitteen ja kohteen välillä (Kuvio 5). Kohteen etäisyys määritetään pulssin kulkuajan ja valonnopeuden avulla. Kuviossa viisi dt kuvaa pulssin aikaeroa. (Cronvall ym. 2012, 12.)



Kuvio 5. Pulssilaserin toimintaperiaate (Kukko 2005, 7).

Vaihe-erolaser perustuu jatkuvan signaalin lähettämiseen. Tätä signaalia moduloidaan siniaalloilla tai eri kanta-aallonpituuksia sisältävällä signaalilla. Lähetetyn ja kohteesta heijastuneen ja vastaanotetun signaalin välisen vaihe-eron määrittäminen tapahtuu laserkeilaimessa. Kuviossa 6 toimintaperiaate, missä $d\phi$ kuvaa signaalien vaihe-eroa. Useamman aallonpituuden moduloinnilla saadaan ratkaistua kanta-aalto. Vaihe-eron ja kokonaislukutuntemattoman kautta saadaan ratkaistua etäisyyshavainto. Tyypillinen mittaustaajuus on 250 kHz, eli 250 000 mittausta sekunnissa. (Cronvall ym. 2012, 12.)



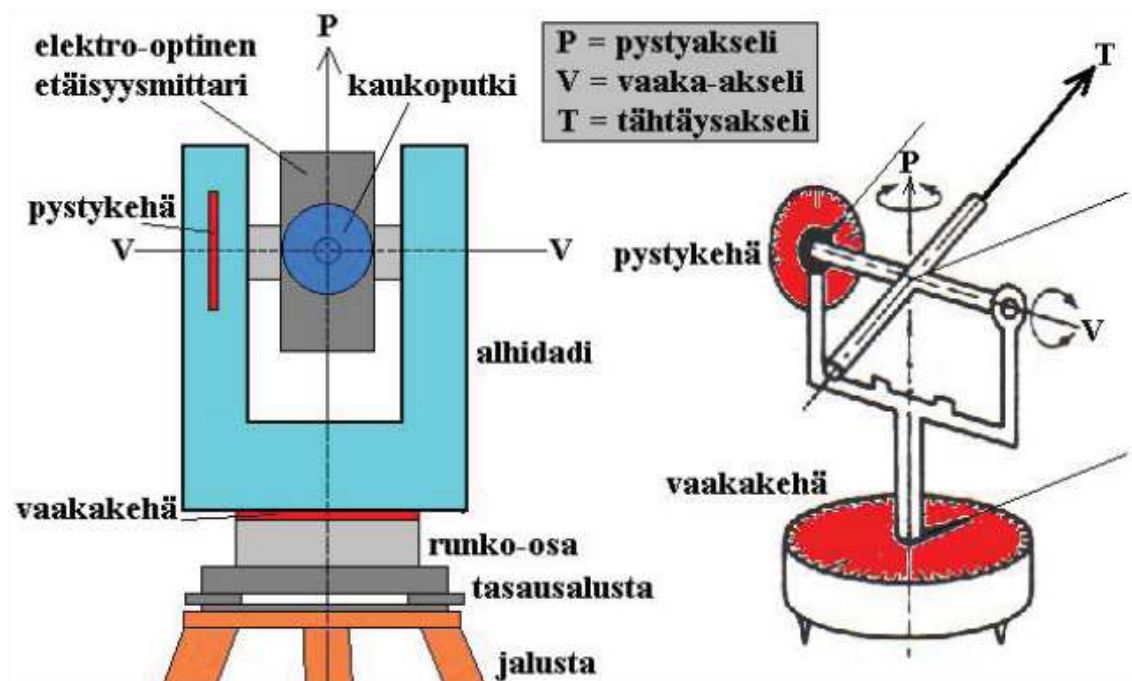
Kuvio 6. Vaihe-erolaserin toimintaperiaate (Kukko 2005, 7).

Optiseen kolmiomittaukseen perustuvia laserkeilaimia käytetään erityisesti vaativissa teollisuusmittauksissa, joissa mittatarkkuuden on oltava hyvä. Tässä mittauksessa keilain tuottaa valopisteen, joka suunnataan mitattavan kohteen pintaan. Takaisin heijastuva valopiste kulkee linssin läpi sensorin pinnalle. Sensorissa sen sijainti rekisteröidään. Kohteen etäisyyden laskentaperusteena käytetään valonlähteen ja sensorin välistä etäisyyttä ja havaittavan valon saapumiskulmaa. (Cronvall ym. 2012, 12.)

4.3 Takymetri

Takymetri on satelliittimittauksen kojeiden ohella tärkein mittaajan yleistyökalu. Sillä mitataan kulmia ja etäisyyksiä. Nykyaikaiset takymetrit muodostuvat yhdistämällä teodoliitti ja elektro-optinen etäisyysmittari. Vuosien myötä takymetrit ovat kehittyneet automaattisiksi mittausröboteiksi. Kehittyneimmillä takymetreillä voidaan kulmien ja etäisyyksien mittaamisen lisäksi skannata sekä valokuvata mittauskohdetta. (Laurila 2010, 223.)

Takymetri pääosat ovat tasausalusta, runko-osa, alhidadi, mittauskaukoputki ja elektro-optinen etäisyysmittari. Muita osia ovat myös erilaiset tasaimet, jalkaruuvit, optinen luoti ja liikeruuvit. Osat näkyvät kuviossa seitsemän. (Laurila 2010, 224.)



Kuvio 7. Takymetrin rakennekuva (Laurila 2010, 225).

Tasausalusta on irrallinen osa, sitä käytetään kojeen jalustaan kiinnitykseen. Tasausalustassa on kolme jalkaruuvia, joiden avulla kojeen asentoa voidaan muuttaa esim. tasaamisen yhteydessä. Tasausalustan yhteydessä on useasti myös optinen luoti. (Laurila 2010, 224.)

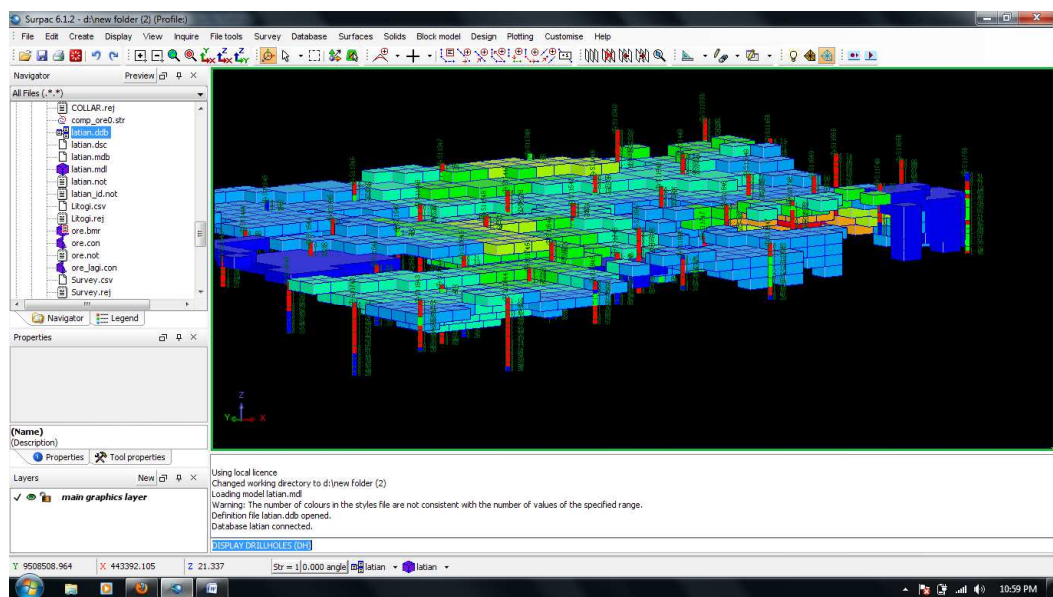
Runko-osassa, joka kiinnittyy tasausalustaan, on vaakakehä. Se on tarkoitettu tähtäyssuunnan- ja vaakakulmanmittaukseen. Tämä runko-osa asetetaan tasauksen yhteydessä vaakatasoon. Aldihadi pyörii kojeen pystyakselin ympäri runko-osan suhteen. Mittauskaukoputki pyörii kojeen vaaka-akselin ympäri ja kiinnittyy aldihadiin. Aldihadin sisällä vaaka-akselin päässä on pystykehä, jota käytetään pystykulmanmittaukseen. (Laurila 2010, 224, 225.)

Mittauskaukoputkessa ja sen ympärillä sijaitsee elektro-optinen etäisyysmittari, jolla etäisyys mitataan. Aiemmin takymetrimittaus on ollut kahden ihmisen työtä, mutta nykyisillä robottitakymetreillä pystyy operoimaan yksikin mittamies. (Laurila 2010, 223, 225.)

4.4 Gemcom Surpac

Gemcom Surpac on nykyaikainen kaivossuunnitteluohjelmisto, joka perustuu eri moodulien integraatioon. Tämä tarkoittaa, että saman ohjelmiston eri moduuleilla hallitaan kaikki oleelliset työvaiheet. Surpac-ohjelmistoa käytetään siis aina geologisen perustiedon hallinnasta kaivosmittauksen tuottaman kartoitusdatan käsittelyyn. Myös poraus- ja panostusparametrien laadinta onnistuu Surpacilla. Peruskaivossuunnitteluohjelmiston lisäksi tarvitaan kuitenkin aputoimintojen suunnittelun avuksi omia erikoisohjelmistoja, kuten tuuletussimulointimalleja, kalliomekaanisia analyysipaketteja ja avolouhosoptimointiohjelmia. (Brusila & Lovén 2009, 69, 70.)

Surpacin ytimen muodostaa graafinen käyttöliittymä (Kuvio 8) sovelluksineen ja moduuleineen, jonka avulla kaivostietokannan data saadaan visualisoitua ja muokattavaan muotoon. Esimerkiksi malmimallien suhteen voidaan digitoida kaksi- tai kolmiulotteisia murtoviivoja, joilla rajataan kiinnostuksen kohteena oleva mineralisaatio. Näin syntyneitä silmukoita yhdistelemällä voidaan luoda kolmiulotteisia kappalemalleja. Ne auttavat suunnittelutehtävien visualisoinnissa, kun esimerkiksi mietitään mahdollisia louhintamenetelmiä. (Brusila & Lovén 2009, 69, 70.)



Kuvio 8. Surpac-ohjelmiston käyttöliittymä.

Kolmiulotteinen käyttöliittymä kaivossuunnittelussa mahdollistaa kaivoksen tarkan yleis- ja detajlisuunnittelun. Perien ja nousujen keskilinjat ovat digitaalisessa muodossa suunnitteluohjelmiston tietokannassa ja niistä saadaan muodostettua 3D-kappaleita, jotka havainnollistavat kaivoksen rakennetta. Myös louhoksista tehtyt kappalemallit yhdessä perämallien kanssa helpottavat poraus- ja panostusparametrien laatimista. (Brusila & Lovén 2009, 69, 70.)

5 RISTEYSALUEIDEN KEILAUS

5.1 Kemin kaivoksen mittaustyöt

Kemin kaivoksella kaivosmittauksen mittaustyöt suorittaa yhtä Outokummun henkilöä lukuun ottamatta urakoitsijayritys. Mittaustulosten käsittely ja liittäminen kaivostietokantaan tapahtuu Outokummun oman henkilöstön kautta. Tyypillisiä kaivoksessa tehtäviä mittauksia ovat peräkartoitukset, louhosten ja sortumien laserkeilaukset, 3D-kuvaukset ja tutkimuskairareikien kartoitukset.

5.2 Mittauslaitteisto

Mittaukset toteutettiin Kemin kaivoksen laitteilla. Käytössä oli kahden eri laitevalmistajan kojeita, Leica ja Zoller+Fröhlich. Leica TCRP 1202+ R1000 –takymetriä (Kuvio 9) käytettiin tähysten mittaamiseen ja Zoller+Fröhlich Imager 5006 –laserkeilaimella suoritettiin varsinaiset keilaukset. Tässä työssä käytössä ollut takymetri on automaattinen, motorisoitu, aktiivisella prismanetsinnällä ja pintamittauksella varustettu. (Leica Geosystems Oy 2009.)



Kuvio 9. Leica TCRP 1202+ R1000 (Leica Geosystems 2009).

Työssä käytetty laserkeilain Z+F Imager 5006 (Kuvio 10) edustaa edistyksellistä teknologiaa laserkeilaimien saralla. Koje pystyy ottamaan havaintoja jopa 79 metrin päästä. Sisäinen vähintään 60 gigatavun kiintolevy takaa suurienkin keilausprojektien onnistumisen työn keskeytymättä. Laitteen muodostaman WiFi-verkon kautta laitetta pystyy operoimaan älypuhelimien tai kannettavan tietokoneen internet-selaimella. Keilaimen ohella käytössä olivat puolipallon muotoiset tähykset. (Zoller+Fröhlich 2014, 2, 3.)



Kuvio 10. Z+F Imager 5006 (Zoller + Fröhlich 2014).

5.3 Orientointi ja tähysten mittaus

Mittaustyöt aloitettiin tasaamalla ja orientoimalla takymetri vapaalle asemapistelle mahdollisimman lähellä keilattavaa risteystä sijaitseviin kahteen seinäpisteeseen. Kaivoksen vinotunnelin seinämillä kulkee runkopisteverkko, jonka avulla takymetri voidaan orientoida kulloisellekin mittausalueelle. Kun koje oli orientoitu, niin jokaisesta kolmesta laserkeilaimen ympärille kolmiomuotoon asetetusta tähyksestä otettiin havainnot takymetrin molemmista kojeasunnoista. Nämä havainnot tähyksistä ovat tärkeässä roolissa myöhemmin, kun pistepilveä kiinnitetään kaivoksen erilliskoordinaatistoon.

On tärkeää, että koko mittauksetapahtuman (orientointi, havainnot, laserkeilaus) ajan tähykset pysyvät liikkumatta, jotta mittauksen kokonaistarkkuus säilyy hyvänä. Varsinkin kaivosympäristössä on erityisen tärkeää tukea tähyksien kolmijalat hyvin maahan tärinöiden ym. seikkojen takia.

5.4 Laserkeilaus

Kun tähykset oli mitattu, niin oli aika aloittaa varsinainen laserkeilaus. Tähysten puolipallot käännettiin 180 astetta pystyakselinsa ympäri, jolloin keilaimelle näkyi pallomuoto. Laserkeilain tasattiin kolmijalan rasiatasaimella. Keilaimen käynnistämisen jälkeen se loi itselleen automaattisesti WiFi-verkon. Seuraavaksi älypuhelimien WiFi-verkoista valittiin käyttöön keilaimen muodostama verkko.

Puhelimen internet-selaimella päästiin laserkeilaimen asetuksiin, joista valittiin mm. mittaustarkkuus ja tallennettavan lopputiedoston nimi. Näissä mittauksissa käytettiin Z+F:n keskiresoluutiota, jolloin skannausajaksi muodostui 1 minuutti 40 sekuntia. Näiden asetusten valinnan lisäksi ei tarvinnut muuta kuin aloittaa skannaus. Kun skannaus oli valmis, niin laitteesta vain kytkettiin virrat pois ja tähykset, kolmijalat ym. purettiin takaisin autoon.

5.5 Tiedostojen käsittely

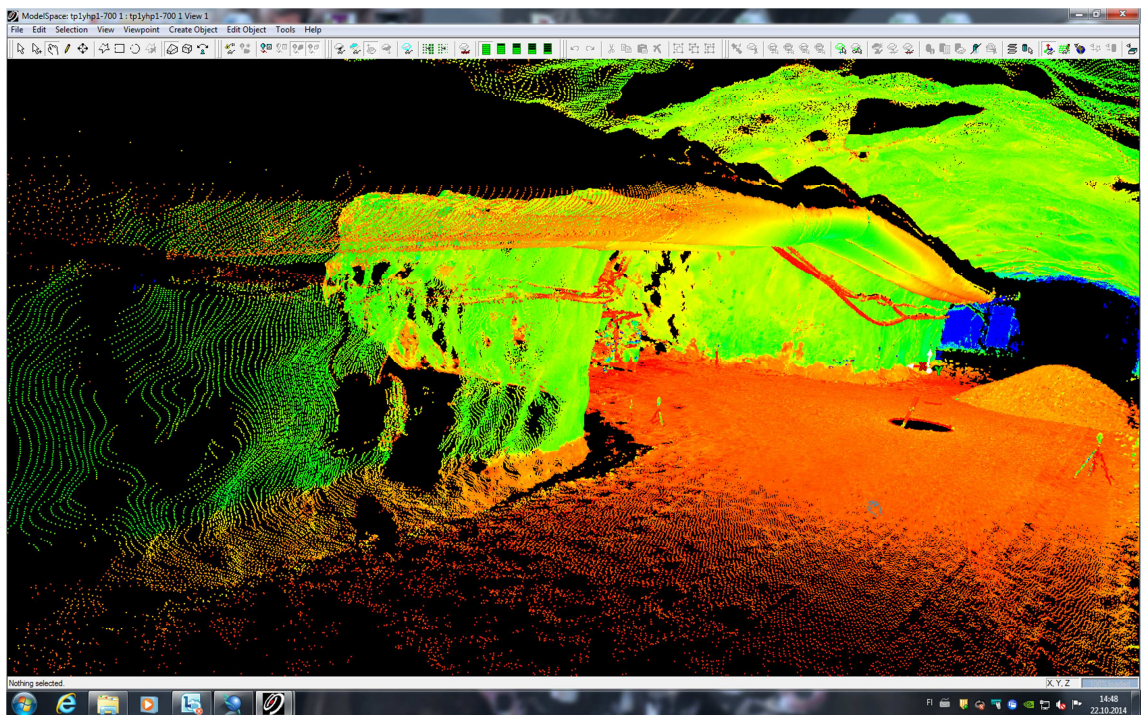
Koska mittauksissa käytettiin kahta erillistä laitetta, niin tiedostojen käsittelyssä oli noudatettava tiettyjä toimintamalleja. Takymetristä purettiin jokaisen risteysalueen tähysten koordinaatit GT-formaatissa muistikortille, jonka kautta ne siirrettiin mittaustoimiston tietokoneelle. Laserkeilain oli tallentanut jokaisen risteysalueen keilausaineiston omaan kansioonsa. Keilaimesta tietokoneelle siirrossa käytettiin yksinkertaista USB-tikkua.

Jokaisesta risteysalueesta muodostui kaiken kaikkiaan yksi zfs- ja GT-tiedosto. Keilain tallensi myös jokaisesta risteyksestä jpeg-muodossa olevan panoraamakuvaa, jolle ei kuitenkaan ollut tässä työssä käyttöä. Risteyksiä keilattiin kolme kappaletta, joten tiedostoja muodostui yhteensä 6 kappaletta. Tiedostot siirrettiin verkkolevylle, josta ne olivat saatavilla myös maan päällä toimiston koneelle, millä varsinainen 3D-mallinnus suoritettiin. Tähän päättyivät lopputyön tehtävät maan alla.

6 3D-MALLIN LUOMINEN

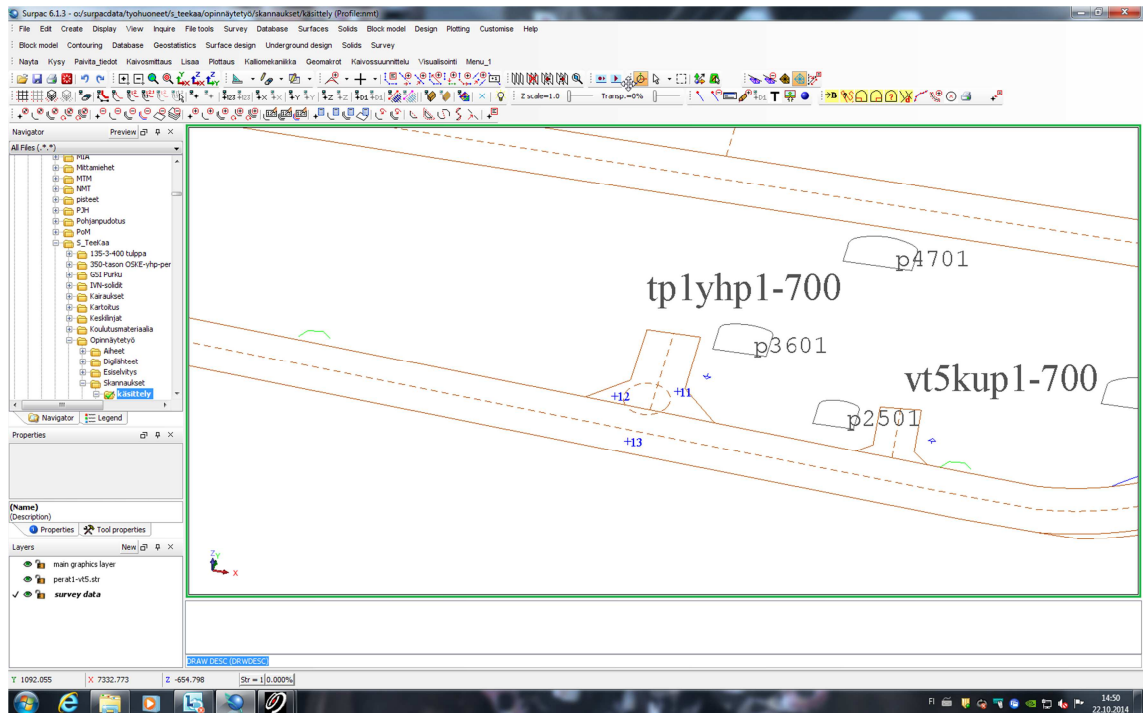
6.1 Leica Cyclone

Seuraavaksi pistepilvitiedostot täytyi saada siivottua ylimääräisistä pisteistä ja yhdistettyä koordinaatistoon, eli georeferoitua. Nämä työvaiheet tapahtuivat Leican valmistamalla Cyclone-ohjelmistolla. Takymetristä tuodut koordinaattitiedostot täytyi muuttaa GT-formaatista txt-formaattiin, sillä Cyclone ei suoraan hyväksynyt GT-tiedostoja. Cyclonen database-runkoon luotiin risteyksen nimellä kokonaan uusi hakemisto, jonka tiedostoiksi valittiin keilattu zfs-tiedosto ja txt-muodossa olevat koordinaatit. Kuviossa 11 näkyy hyvin raaka pistepilvidata.



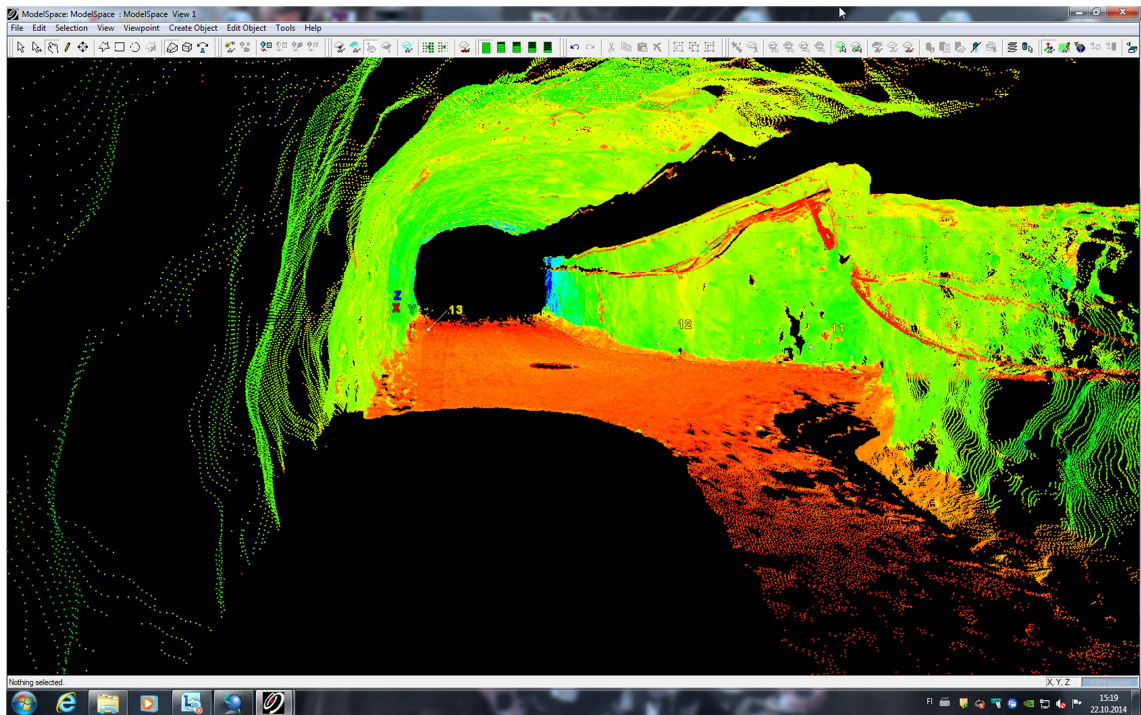
Kuvio 11. Laserkeilaimen tuottama käsittelemätön pistepilvi.

Pistepilvestä täytyi seuraavaksi etsiä tähykset ja merkitä ne ohjelmalle. Tähysten etsimistä pistepilvestä helpotti, kun avasi koordinaatit Surpac-ohjelmistolla, missä oli pohjalla kaivostietokannan suunnitelmatiedot kyseistä syvyystasosta (Kuvio 12).



Kuvio 12. Kuvassa näkyy tähysten 11, 12 ja 13 sijainti risteykseen nähden.

Kun tähykset oli kiinnitetty pistepilveen, niin voitiin georeferoida pistepilvi. Nyt hiirellä eri puolilta valitsemalla saatiin kohteesta oikeat kaivoskoordinaatiston koordinaatit. Georeferoinnin jälkeen voitiin aloittaa pistepilven siivoaminen. Pilvestä täytyi poistaa mm. tuuletusrättiputki, tähykset, pakettiauto, mittamiesten vartalog ja hiekkakasa. Tavoitteena oli, että pistepilvestä saataisiin mahdollisimman puhdas ja selkeä risteyksen ja tunnelin profiili. Näiden toimenpiteiden jälkeen voitiin georeferoitu pistepilvi viedä ohjelmasta pts-formaattiin. Kuviossa 13 näkyy viivoilla merkittyinä tähysten 11, 12 ja 13 paikat, joista tähykset poistettiin georeferoinnin jälkeen.



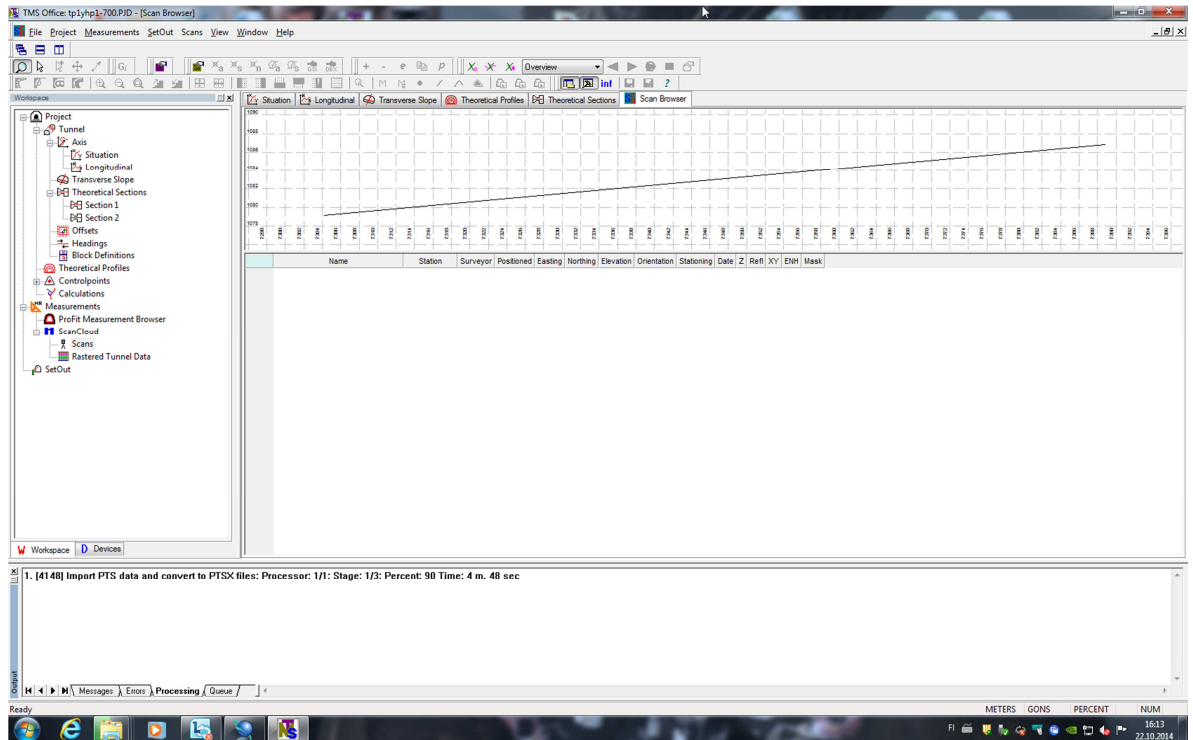
Kuvio 13. Käsitelty pistepilvi.

6.2 TMS Office ja 3D-Win

6.2.1 TMS Office

TMS Office on Amberg Technologiesin valmistama tunnelointi- ja poikkileikkausohjelmisto. Tässä työssä sitä käytettiin tuottamaan poikkileikkaukset pts-tiedostoista. Poikkileikkauksien saamiseksi tarvittiin koordinaattipisteet risteysalueen molempien suuntien (X ja Y) keskilinoista. Ne saatiin helposti kuviossa 11 näkyvistä katkoviivalla merkityistä ruskean värisistä keskilinoista. Koska pistepilvi georeferoitiin, niin keskilinjat olivat automaattisesti oikeilla paikoilla ja voitiin käyttää suoraa suunnitelmatason keskilinjaa. (Amberg Technologies 2014.)

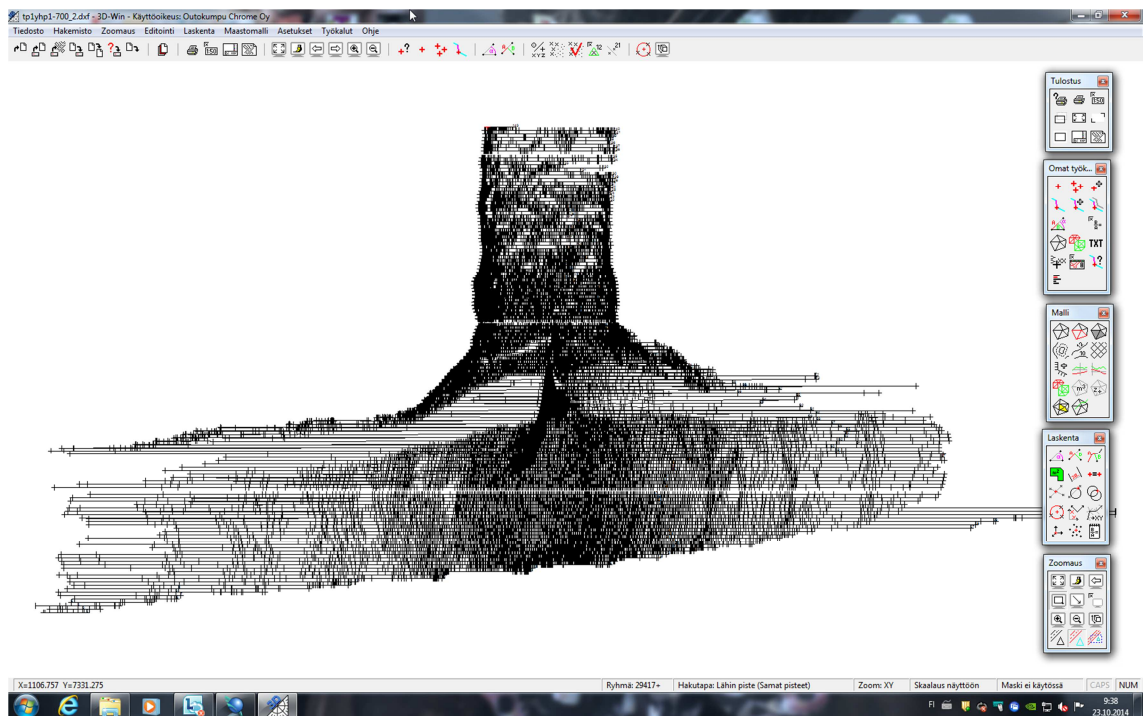
TMS Officen poikkileikkauklaskenta jokaiselle risteykselle tehtiin kaksi kertaa (X ja Y – suuntaan). Poikkileikkausten muodostamisväliksi valittiin 20 senttimetriä, jotta saavutettaisiin riittävä tarkkuus myöhempiä vaiheita varten. TMS Officesta poikkileikkaukset vietiin dxf-formaattiin.



Kuvio 14. Keskilinjoiden koordinaattien syöttäminen TMS Officeen.

6.2.2 3D-Win

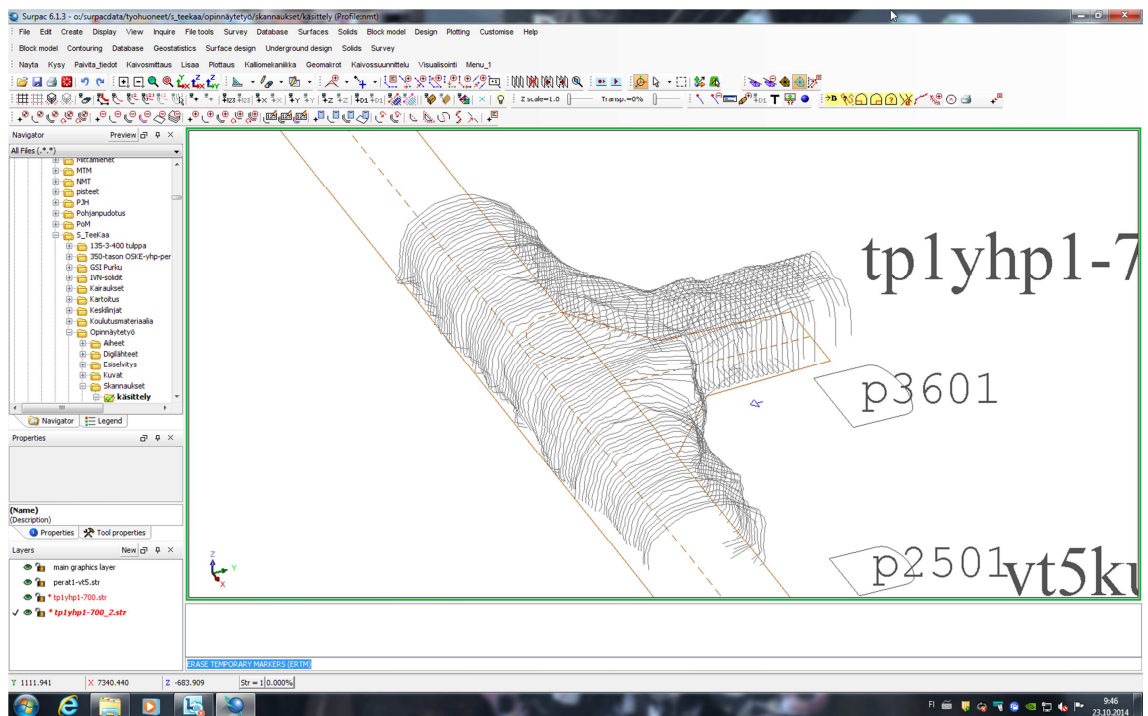
3D-Win on suomalaisen 3D-system Oy:n valmistama maastomittaustiedon tuottamiseen ja käsittelyyn tarkoitettu Windows-ohjelmisto. Sillä voidaan käsitellä yhtäaikaaisesti useita päällekkäisiä vektori- ja rasterikuvaelementtejä, joita voidaan hallita erikseen. Tässä työssä 3D-Winiä käytettiin dxf-tiedoston käsittelyyn ennen muuntaa Surpacin str-formaattiin. Ensiksi risteyksen dxf-tiedostosta valittiin kaikki pisteet ja niiden pistekoodi muutettiin koodille 1070, joka on Surpac-ohjelmistossa harmaan viivan pistekoodi. Tämän jälkeen poistettiin päällekkäiset pisteet "Vertaa pisteitä" – toiminnolla, jonka hakurajaksi asetettiin 0,150 metriä. Tällä toiminnolla pisteistä poistui noin puolet. Näiden toimintojen jälkeen 3D-Winin osuus oli valmis ja tiedosto voitiin muuttaa Surpacin käyttämään string-formaattiin (str-tiedosto). (3D-system 2014.)



Kuvio 15. Näkymä risteysalueesta 3D-Win –ohjelmistossa.

6.3 Surpac-mallit

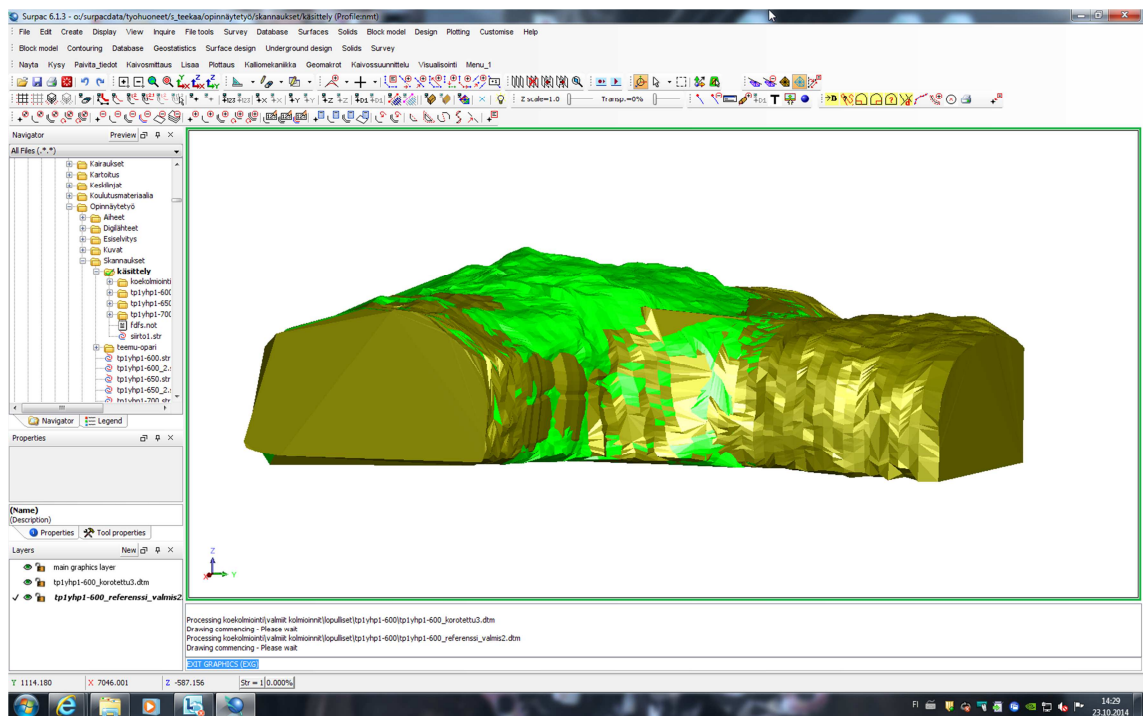
Surpac-ohjelmistolla käsitellyistä poikkileikkauksista saatiin muodostettua kolmiulotteiset kappalemallit. Poikkileikkausrungot, mitkä tuotiin Surpaciin, näyttivät melko epäselviltä ja vaativat paljon käsittelyä. 3D-Winin ”Vertaa pisteitä” –toiminnon jäljiltäkin täytyi käsin poistaa paljon turhia pisteitä. Verrokkina käytettiin jatkuvasti käsiteltyä pistepilveä toisella näytöllä, jotta poikkileikkausmallista saataisiin mahdollisimman todenmukainen ja tarkka. Kuviossa 16 on osittain käsiteltyä mallia.



Kuvio 16. Osittain käsitellyt poikkileikkaukset kaivostietokannan tasotiedon yhteydessä.

Vähitellen 3D-mallin luuranko alkoi rakentua ja se pystyttiin kolmioimaan. Kolmiointi tarkoittaa, että poikkileikkaussarjasta tuotetaan visuaalinen kolmiulotteinen kappale, jolla on tilavuus. Tämä tilavuus oli lastauskorotetun risteyksen tilavuus.

Jotta lastauskorotetun risteyksen lisälouhinnat saataisiin selville, tarvittiin myös malli korottamattomasta risteyksestä. Kuviossa 17 havainnollistuu hyvin referenssiristeyksen keltainen malli, jonka päälle vihreä lastauskorotettu malli asetuu.



Kuvio 17. Molemmat kappalemallit samassa kuvassa.

Tämä keltainen malli luotiin ohjelmallisesti muokkaamalla käsin poikkileikkauksien korkeuksia, jotta ne vastaisivat normaalin tunneliprofiilin muotoa. Jokaisesta mallinnetusta risteyksestä luotiin kaksi eriväristä kappalemallia. Mallien erot olivat ainoastaan lastauskorotuksissa.

7 TULOSTEN KÄSITTELY

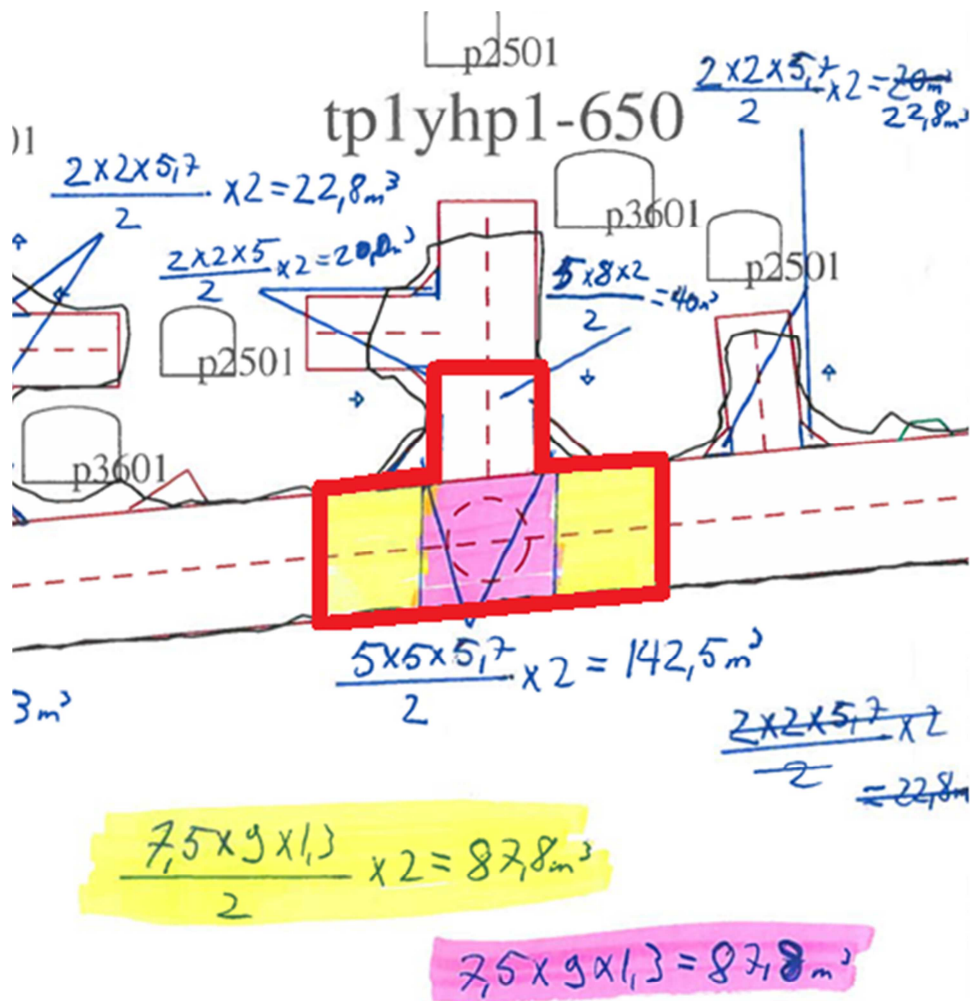
7.1 Ohjelmallinen tilavuuksien laskenta

Kun jokaisesta keilatusta risteyksestä oli muodostettu kaksi 3D-kappalemallia, oli aika laskea malleille tilavuudet, jotta korotetun ja referenssiristeyksen tilavuuksien erotus saataisiin selville. Surpacissa on kehittyneet työkalut kappaleiden tilavuuslaskentaan ja ohjelman sai raporttoimaan molemmista kappaleista kuutiomäärät erillisiin tiedostoihin. Ennen raporttien hyväksyntää, täytyi yksinkertaisilla kantikkailla kappaleilla testata tilavuusraportoinnin toimivuutta. Tämä onnistui helposti luomalla esimerkiksi 2m x 2m x 2m kappaleen ja tuomalla tämän jälkeen Surpacista kappaleen tilavuusraportin. Raportissa olleen 8m³ tuloksen pohjalta voitiin turvallisesti tulostaa varsinaisista risteysmalleista raportit.

7.2 Kustannusvertailu

Tilavuusraporttien valmistuttua, tiedossa oli toteutuneet kuutiomäärät risteysalueiden lastauskorotuksista. Näitä kuutiomääriä verrattiin risteyskohtaisesti, aikaisempiin teoreettisiin kuutiomääriin. Tässä työssä otanta oli kaksi risteysaluetta vinotunnelin varrelta.

Kustannusvertailu toteutettiin vertailemalla toteutuneiden ja teoreettisten tilavuuksien prosentuaalista suhdetta. Kuviossa 18 on esimerkki urakoitsijan tekemistä yhden risteysalueen lisälouhintojen teoreettisista laskelmista.



Kuvio 18. Kuvassa on esimerkki teoreettisista tilavuuslaskelmista.

Risteysalue näkyy kuvion pohjalla. Keltaisella ja vaaleanpunaisella on eroteltu vinotunnelin kohdalta korotuksen kuutiolaskentaperusteet. Pienempi värittämätön alue ulottuu risteuksen peräprofiili-36:n alueelle, kuviossa merkitty nimellä p3601. Laskennassa käytetty alue on rajattu punaisella viivalla. Kuviossa risteuksen reunalevitykset (142,5m³) eivät kuulu tämän työn laskentaan.

$$\frac{7,5\text{m} \cdot 9\text{m} \cdot 1,3\text{m}}{2} * 2 = 87,8\text{m}^3 \quad \text{Keltainen alue} \quad (1)$$

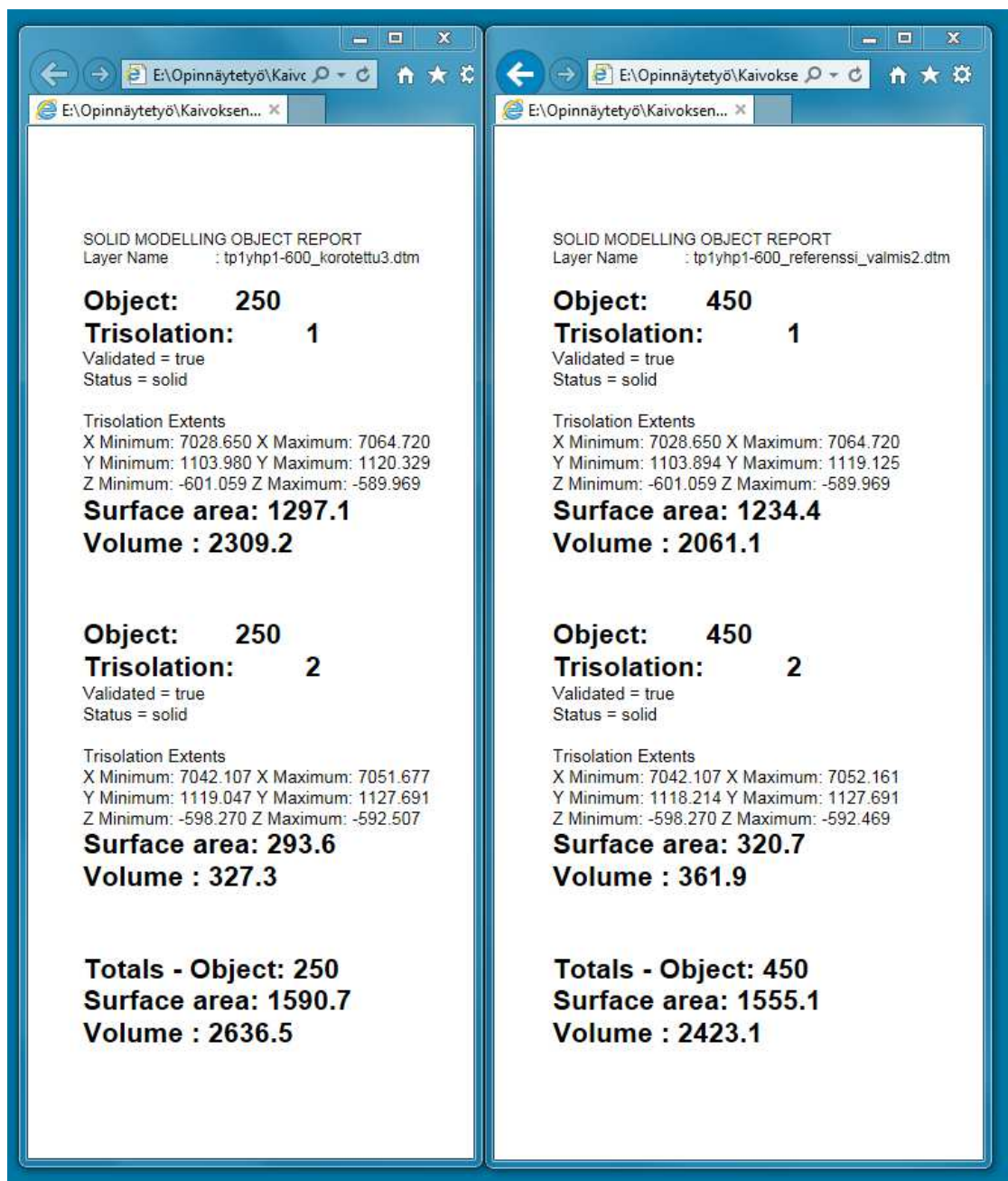
$$7,5\text{m} * 9\text{m} * 1,3\text{m} = 87,8\text{m}^3 \quad \text{Vaaleanpunainen alue} \quad (2)$$

7,5 metriä on lastauskorotuksen viistämiseen laskettu pituus. 9m on perän vt5 leveys profiililla p4701. 1,3 metriä tulee peräprofiilin p4701 korkeuden (5,7 metriä) ja lastauskorotuksen korkeuden (7 metriä) erotuksesta. Keltaiselta viisteen alueelta tilavuus on jaettu kahdella, kun taas täysin korotetulla vaaleanpunaisella alueella käytetään täyttä lukua.

$$\frac{5 \cdot 8 \cdot 2}{2} = 40\text{m}^3 \quad \text{p3601-profiilin peräalue} \quad (3)$$

P3601-profiilin alueelle ovat käytössä kompensoidut arvot, jotka perustuvat profiilin leveyteen ja korkeuteen.

Edellisten kaavojen avulla urakoitsija muodostaa laskutusperusteensa lisälouhinnoista. Louhintojen laskutukseen liittyen, kuutioilla on yksikköhintansa, mutta tämän työn kannalta rahamäärien käyttäminen ei ollut tarkoituksenmukaista. Tavoite oli ennen kaikkea saada tietoa, kuinka paljon todellinen louhintamäärä eroaa teoreettisesta määrästä. Kuviossa 19 on esimerkki risteysalueen tilavuusraporteista, joiden erotuksesta saadaan vertailuluku teoreettisen laskelman tulokselle.



Kuvio 19. Kuvassa on esimerkki yhden risteysalueen korotetun ja referenssin mallikappaleista muodostetuista raporteista ja niiden tilavuuseroista.

Kyseessä on vinotunnelin ja tp1yhp-600 – nimisen perän risteys. Kuviossa näkee, kuinka Surpac on koostanut mallit kahdesta osasta (Trisolation 1 & 2). Näiden yhteenlaskettu tilavuus näkyy alimmalla Volume – rivillä. Näistä korotetun- ja referenssiristeyksen tilavuuksien erotuksesta saadaan kyseisen risteyksen toteutunut lisälouhintamäärä, eli lastauskorotettu osuus. Molempien risteyksien raportit ovat liitteessä 1.

8 TYÖN TULOKSET JA POHDINTA

8.1 Tulokset

Kaikin puolin mittaukset onnistuivat erittäin hyvin. Teknisiä ongelmia ei ilmennyt. Ajallisesti venyttiin hieman suunnitellusta aikataulusta, sillä käytännön mittauksien ja tulosten käsittelyyn varattu viikon aika ei riittänyt täysin.

Myös työn teoriaosuus onnistui hyvin. Kattavan kirjallisten ja digitaalisten lähteiden valikoiman ansioista työhön saatiin riittävän ammattimainen ote. Mittauslaitteiden tuote-esitteet tarjosivat paljon tietoa laite-esittelyihin.

Kun yhdestä risteysalueesta oli tiedossa teoreettinen ja toteutunut kuutiomäärä, näiden keskinäinen suhde laskettiin jakamalla teoreettinen määrä toteutuneella. Tästä saatiin kyseessä olevan risteyksen prosentuaalinen suhdeluku. Molemmille risteyksille laskettiin nämä suhdeluvut. Tulokset on esitelty tarkemmin taulukossa 1.

Taulukko 1. Molempien risteysalueiden laskennat ja tulokset.

Risteysperän nimi	tp1yhp1-600	tp1yhp1-650
Skannattu malli (korotettu risteys m ³)	2636,5	2767,2
Skannattu malli (referenssiristeys m ³)	2423,1	2583,3
Toteutunut korotuslouhinta (m ³)	$2636,5 - 2423,1 = 213,4$	$2767,2 - 2583,3 = 183,9$
Teoreettinen korotuslouhinta (m ³)	197,3	215,6
Teoreettisen ja toteutuneen erotus	$197,3 - 213,4 = -16,1$	$215,6 - 183,9 = 31,7$
Kerroin	$197,3 / 213,4 = 0,92$	$215,6 / 183,9 = 1,17$
Kokonaiskerroin	$(0,92 + 1,17) / 2 = 1,045$	

Kokonaiskertoimeksi saatiin 1,045. Ottaen huomioon työssä käytettyjen risteysten otannan ja kertoimien eron, voidaan kuitenkin sanoa, että todellisuudessa kokonaiskerroin asettuu 0,9 ja 1,2 välille.

Muihin risteysalueisiin nämä tulokset eivät kuitenkaan ole suoraa kelvollisia. Erilaisten peräprofiilien risteyksissä louhintakäytännöt ja toleranssit saattavat olla erilaiset, joten uudet keilaukset ovat välttämättömiä, jos tarkkoja tuloksia halutaan laajemmalla alueella kaivoksesta. Laskutettavat risteyslevitykset eivät kuitenkaan ole tuloslaskelmissa mukana, joten se täytyy huomioida, jos laskutusperusteita lähdetään muuttamaan.

8.2 Työn tarkkuus ja laatutavoitteet

Maanmittausalalla kaikkien mittausten virheiden arviointi ja hallinta ovat välttämätön osuus työtä. Virheiden arviointi vaikuttaa mittaustavan valintaan, mittausten tarkoituksenmukaiseen suorittamiseen ja mittaustyön laadunvalvontaan. Virheluokkia ovat systemaattinen, satunnainen ja karkea virhe. Systemaattinen virhe esiintyy esimerkiksi kaikissa havainnoissa samansuuruisena. Satunnaiset virheet tarkoittavat esimerkiksi havaintojen vaihtelua mittausta toistettaessa, vaikka olosuhteet eivät olisi muuttuneet. Karkeat virheet johtuvat erehdyksistä, viallisista kojeista tai poikkeavista olosuhteista. (Laurila 2010, 33.)

Mittausten tarkkuuden seuraaminen tässä työssä oli yksinkertaista. Jokaisen takymetrin orientointikerran jälkeen koje näytti suoraa virhelukemat jokaiselle (X, Y ja Z) akselille. Virheet pyrittiin pitämään pienempänä kuin 0,005 metriä. Toinen tarkkuuslukema saatiin georeferoidessa pistepilviä kaivoskoordinaatioon. Tässäkin virheet pysyivät pienempänä kuin 0,005 metriä. Karkeat virheet tarkastettiin asettamalla georeferoitu malli kaivoksen tasosuunnitelman yhteyteen, jolloin se asettui suunnitelmakuvassa olevan saman risteyksen päälle.

Näillä tarkkuuslukemilla ei suoraa ollut kuitenkaan vaikutusta lopputyön tulokseen, sillä niitä käytettiin vain pistepilven kiinnittämiseksi kaivoskoordinaatioon. Laserkeilauksissa käytettiin laserkeilaimen keskiresoluutiota, joka työssä käytetylle keilaimelle tarkoittaa 5000 pikselin lukumäärää 360 asteelle. Tämä resoluutioasetus on käytössä kaivoksen muissakin keilauksissa ja tarjoaa hyvän laadun verrattuna pistepilven käsittelyn vaatimaan konetehoon ja käsittelyoperaation työtuntimäärään. (Zoller+Fröhlich, 8.)

Kaikkineen voidaan todeta, että työn vaatimat laatutavoitteet saavutettiin. Työn aikana tuotettiin myös paljon oheismateriaalia mittauksiin ja keilauksiin liittyen, jotka ovat Kemin kaivoksen käytettävissä jatkossakin.

8.3 Keilausten tarpeellisuus jatkossa

On totta, että laserkeilauksen avulla saadaan erittäin tarkkaa tietoa risteysalueen lisälouhinnan tilavuudesta. Työn tuloksien perusteella eroa teoreettisiin laskelmiin on jonkin verran. Taloudellista hyötyä saavutettaisiin pitkällä tähtäimellä useampia risteysalueita skannaamalla. Mittaustapahtumat ovat nopeita suorittaa, mutta tulosten käsittely on työlästä. Selvää on, ettei jokaista risteysaluetta kohden ole kannattavaa tehdä laserkeilausta ja mallia.

Sen sijaan eri risteysalueprofiileista, eli kahden eri peräprofiilin risteysalueesta voitaisiin keilata ja tuottaa muutamia 3D-malleja, joita voisi käyttää referenssinä millä tahansa tasolla sijaitsevien samojen peräprofiilien risteysalueisiin. Näin saataisiin tarkennettua kaikkien risteyslisälouhintojen laskutusperusteita, eivätkä nämä tarkastusmittaukset koskisi vain tiettyjä alueita ja profiileja. Yhdenmukainen käytäntö kaivoksen kaikilla alueilla tuottaisi säästöjä, mikäli muissakin risteysalueprofiileissa tilavuuseroa löytyisi.

Käytännössä Kemin kaivoksessa voitaisiin keilata malli jokaisen peräprofiiliyhdistelmän risteyksestä. Näiden keilausten 3D-mallien ja kyseisten risteysprofiilien teoreettisista laskelmista saataisiin jokaiselle risteystyypille samantyyppinen kerroin, kun tässä työssä saatiin. Näiden kertoimien keskiarvosta saataisiin ns. koko maanalaisen kaivoksen korotusalueet kattava kerroin, jonka perusteella nykyisiä laskutusperusteita tarkennettaisiin.

LÄHTEET

Amberg Technologies. 2014. TMS Officen kotisivut. Viitattu 14.11.2014
<http://www.ambergtechnologies.ch/en/products/tunnel-surveying/tms-profile/>

Ankkuri, T. 2013. Tuotannonohjaus Kemin kaivoksella ja mahdolliset kehitystarpeet tuotannon laajentuessa. Oulun yliopisto. Tuotantotalouden osasto. Diplomityö.

Brusila, J. & Lovén, P. 2009. Kaivossuunnittelu. Teoksessa A. Hakanpää & P. Lappalainen (toim.) Kaivos- ja louhintatekniikka. Kaivannaisteollisuus ry ja Opetushallitus. Vammalan kirjapaino Oy, 69-70

Cronvall, T., Kråknäs, P. & Turkka, T. 2012. Laserkeilauksen käyttö liikennetunneleiden kunnossapidon hallinnassa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 2012:41. Viitattu 23.11.2014
http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2012-41_laserkeilauksen_kaytto_web.pdf

Härmälä, O. & Wikman, E. 2009. Kaivosmittaus. Teoksessa A. Hakanpää & P. Lappalainen (toim.) Kaivos- ja louhintatekniikka. Kaivannaisteollisuus ry ja Opetushallitus. Vammalan kirjapaino Oy, 347-349.

Kukko, A. 2005. Laserkeilaimen valinta lähifotogrammetrisiin mittaustehtäviin. Erikoistyö. TKK. Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen laboratorio.

Lappalainen, P. 2009. Maanalaiset louhintamenetelmät. Teoksessa A. Hakanpää & P. Lappalainen (toim.) Kaivos- ja louhintatekniikka. Kaivannaisteollisuus ry ja Opetushallitus. Vammalan kirjapaino Oy, 108-111.

Lappalainen, P., Lehto, J., Syrjänen, P., Vennelä, T. & Kuula, H. 2009 Kalliolujiutus ja kalusto. Teoksessa A. Hakanpää & P. Lappalainen (toim.) Kaivos- ja lou-

hintatekniikka. Kaivannaisteollisuus ry ja Opetushallitus. Vammalan kirjapaino Oy, 215-216.

Laurila, P. 2010. Mittaus- ja kartoitustekniikka. 3. korjattu painos. Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D nro 3.

Leica Geosystems Oy. 2009. TPS1200+ Tuote-esite. Viitattu 11.11.2014
http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/tps1200/brochures/Leica_TPS1200+_brochure_en.pdf

Outokumpu Chrome Oy. 2014. Kemin kaivoksen esittelymateriaali, diaesitys.

Outokumpu Chrome Oy. 2013. Kemin kaivoksen perehdytysmateriaali, diaesitys.

Outokumpu Tornio Works. 2003. Esittelymateriaali, diaesitys.

Salonen, P. 1956. Kivien ja kallion louhintaopas. Erikoispaino Oy.

Vuorimiesyhdistys r.y. 1964. Kaivosmiehen käsikirja. Erikoispaino Oy.

Zoller + Fröhlich. 2014. Imager 5006 Tuote-esite. Viitattu 1.12.2014
http://www.cyi.ac.cy/system/files/Z&F_IMAGER_5006_Broschuere_EN_0.pdf

3D-system. 3D-Win -ohjelmiston kotisivut. 2014. Viitattu 2.12.2014
<http://www.3d-system.fi/index.php/3d-win>

LIITE

Liite 1. Kummankin risteysalueen tilavuusraportit Surpacista.

Liite 1. tp1yhp1-600 ja tp1yhp1-650 Surpac-raportit.

SOLID MODELLING OBJECT REPORT
Layer Name : tp1yhp1-600_referenssi_valmis2.dtm

Object: 450

Trisolation: 1

Validated = true
Status = solid

Trisolation Extents
X Minimum: 7028.650 X Maximum: 7064.720
Y Minimum: 1103.894 Y Maximum: 1119.125
Z Minimum: -601.059 Z Maximum: -589.969

Surface area: 1234.4

Volume : 2061.1

SOLID MODELLING OBJECT REPORT
Layer Name : tp1yhp1-600_korotettu3.dtm

Object: 250

Trisolation: 1

Validated = true
Status = solid

Trisolation Extents
X Minimum: 7028.650 X Maximum: 7064.720
Y Minimum: 1103.980 Y Maximum: 1120.329
Z Minimum: -601.059 Z Maximum: -589.969

Surface area: 1297.1

Volume : 2309.2

Object: 450

Trisolation: 2

Validated = true
Status = solid

Trisolation Extents
X Minimum: 7042.107 X Maximum: 7052.161
Y Minimum: 1118.214 Y Maximum: 1127.691
Z Minimum: -598.270 Z Maximum: -592.469

Surface area: 320.7

Volume : 361.9

Object: 250

Trisolation: 2

Validated = true
Status = solid

Trisolation Extents
X Minimum: 7042.107 X Maximum: 7051.677
Y Minimum: 1119.047 Y Maximum: 1127.691
Z Minimum: -598.270 Z Maximum: -592.507

Surface area: 293.6

Volume : 327.3

Totals - Object: 450

Surface area: 1555.1

Volume : 2423.1

Totals - Object: 250

Surface area: 1590.7

Volume : 2636.5

SOLID MODELLING OBJECT REPORT
Layer Name : tp1yhp1-650_referenssi_valmis2.dtm

Object: 450

Trisolation: 1

Validated = true
Status = solid

Trisolation Extents
X Minimum: 7040.903 X Maximum: 7076.651
Y Minimum: 1050.271 Y Maximum: 1066.651
Z Minimum: -650.584 Z Maximum: -639.039

Surface area: 1250.7

Volume : 2094.2

SOLID MODELLING OBJECT REPORT
Layer Name : tp1yhp1-650_korotettu_valmis.dtm

Object: 250

Trisolation: 1

Validated = true
Status = solid

Trisolation Extents
X Minimum: 7040.903 X Maximum: 7076.651
Y Minimum: 1050.271 Y Maximum: 1066.654
Z Minimum: -650.584 Z Maximum: -638.683

Surface area: 1298.7

Volume : 2275.0

Object: 450

Trisolation: 2

Validated = true
Status = solid

Trisolation Extents
X Minimum: 7055.282 X Maximum: 7064.801
Y Minimum: 1065.031 Y Maximum: 1077.816
Z Minimum: -647.521 Z Maximum: -641.800

Surface area: 423.0

Volume : 489.1

Object: 250

Trisolation: 2

Validated = true
Status = solid

Trisolation Extents
X Minimum: 7055.282 X Maximum: 7064.801
Y Minimum: 1065.031 Y Maximum: 1077.816
Z Minimum: -647.521 Z Maximum: -641.613

Surface area: 424.5

Volume : 492.2

Totals - Object: 450

Surface area: 1673.7

Volume : 2583.3

Totals - Object: 250

Surface area: 1723.3

Volume : 2767.2